253. 流れとMRI 第8報

画素内の流速分布と位相変化の広がりによる信号強度の変動

大阪大学医学部附属病院中央放射線部

○ 赤井 喜徳, 祐延 良治,
(YOSHINORI, AKAI) (YOSHIHARU, SUKENOBU)
前田 大助, 段床 嘉晴
(DAISUKE, MAEDA) (YOSHIHARU, DANTOKO)

【目的】 MRI画像において、流れの信号強度に影響を与える機構には、transport of spins と、spin phase change に大別される。我々は、spin phase changeに関する定量的な評価を目的とした基礎的検討を行ない、通常の撮像法における一般式を導入したので報告する。

【方法】 flow phantomは、前回同様laminar flowを用い、MRIは、MAGNETOM-H15である。撮像法は、TRが500ms、TEが30msのSE法、flow compensation用の傾斜磁場を加えたものと、加えないものとした。流れの方向が面内に含まれるin planeにて、スライス厚20mm、読み出し用傾斜磁場を流れの方向に設定して撮像した。測定は、放物形速度プロファイルをもつlaminar flowの全ての速度成分が1つの画素内に撮像されるように位相変調傾斜磁場を印加しないもの、および印加する通常の撮像法について、流速を変化させて撮像し、画素値を求めた。

【結果および考察】 fig. 1には、位相変調傾斜磁場を印加しない条件で測定した結果を示す。横軸は平均流速、縦軸は相対的な信号強度とした。○印はflow compensation(+)のもの、および□印はflow compensation(-)のものをプロットした。flow compensation(+)では、流速の変化にともなう急激な変動がなく、ほぼ一定である。flow compensation(-)では、流速4.8cm/sec付近で0になり、その後回復し、再び減衰する周期的変動を認めた。この現象を理論的に考察すると、適全ての速度成分は1つの画素内に含まれるため、速度 v をもつスピンの速度分布関数 $f(v)$ が $1/V_{max}$ と一定になり、

$$SI = \rho(H) \cdot \frac{|\sin(\phi(v)/2)|}{|\phi(v)/2|} \quad \dots\dots(1)$$

$$\phi(v) = V_{max} \cdot \gamma \cdot \int_0^t G_{ro} \cdot t \, dt$$

となる。但し、 T_1 , T_2 の效果やtransport of spinsの效果は省略した。スピンの生じた位相変化量 $\phi(v)$ は、最大流速 V_{max} のスピン位相の変化量 $\phi(v_{max})$ を表す。式(1)の関係は、fig. 1内の実線で示す変化となり、この理論曲線は測定値をほぼ近似している。また、flow compensation(+)のものでは全てのスピン位相の変化量が0となるため、画素内の流速分布に関係なく一定となる。

次に、flow compensation(-)に注目し、位相変調傾斜磁場を印加する通常の撮像法について報告する。flow compensation(-)の撮像法にて、 $\phi(v_{max})$ が 2π 時に撮像した画像をfig. 2に示す。左側は位相変調傾斜磁場を印加しない場合を、右側は印加した場合の画像を示す。 $\phi(v_{max})$ が 2π のとき、位相変調傾斜磁場を印加しない方はほぼdephaseしているが、印加した場合には比較的信号が保たれ、流れに垂直な画素ごとに信号の強弱を認める。fig. 3には各画素ごとの流速勾配を模倣的に示した。画素ごとに流れの $f(v)$ および V_{max} が異なることを示す。flow compensation(-)の通常の撮像法にて測定した結果をfig. 4内に、●印で示す。通常の撮像では画素内の $f(v)$ が複雑になるが、画素ごとの信号強度は三平方の定理ではほぼ近似しえる。流れを十分に含んだin plane画像において、流れの半径を r_0 、流れを含む画素数を $2n$ 、画素サイズを Δy とする。laminar flowにおいて、流れの中心よりの距離が r の流速 v は $V_{max} \cdot \{1 - (r/r_0)^2\}$; $r_0 = n \cdot \Delta y$ で表される。これらの条件下で流れの中心よりの距離が x' の画素値は、

$$I_k/I_{0k} = (1/\alpha) \cdot \{ \left(\int_0^\alpha \cos \phi \cdot x^2 \, dx \right)^2 + \left(\int_0^\alpha \sin \phi \cdot x^2 \, dx \right)^2 \}^{1/2} \quad \dots\dots(2)$$

$$r^2 = x'^2 - (k \cdot \Delta y)^2 ; \quad x'/r_0 = x$$

$$\alpha^2 = 1 - (k/n)^2 \quad (k = 0 \text{ to } n)$$

$$\phi = V_{max} \cdot \gamma \cdot \int_0^t G(t) \cdot t \, dt$$

となる。この式(2)を用いて、 $k = 0$ から5までを各画素ごとに計算し、各画素の合計の理論曲線をfig. 4に実線で示す。これは測定値の変化をほぼ近似している。このようにspin phase change効果の推定は、画素内に含まれる流れの速度分布・構成がつかめれば可能である。

【結論】 今回我々は、通常の撮像法におけるspin phase change効果による信号強度変化の理論式を導き、定常流における実験系において確認した。この理論式は、生体内で実現されている perfusion や pulsatile flow についても適用できる。

fig. 1 流速と信号強度
位相変調傾斜磁場を印加しない場合

fig. 2 撮像画像 $\phi(V_{max}) = 2\pi$

fig. 3 画素ごとの流速勾配

fig. 4 flow compensation(-)の場合の流速と信号強度
測定値と理論曲線